

# 扣件模具

## 壽命及破壞

### 一、前言

長年以來台灣扣件位居全球的第三或第四大出口國，但像金屬扣件這樣的傳統產業對於現場老師傅逐次調整模具直至最佳化的依賴人力作業仍非常高。扣件產品常以鍛造成形技術進行量產，其成形主要包含頭部等外觀尺度之鍛造製程成形及牙部螺紋區域之擠壓輾造滾製成形。無論鍛造成形製程或擠壓輾造成形製程，生產過程均需依賴模具。因此，模具扮演扣件生產重要的角色，扣件模具壽命及破壞對生產成本、產能產量及品質具有決定性的影響。

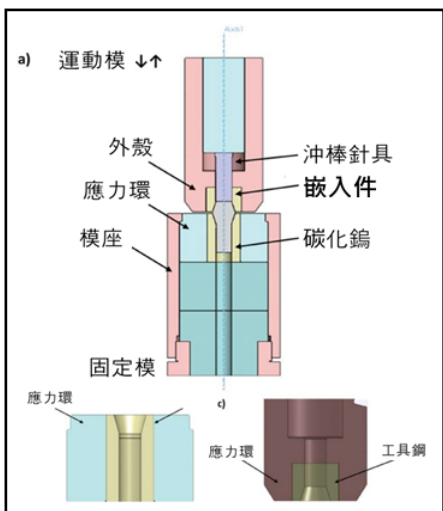


圖 1 扣件外觀尺度之鍛造成形模具

一般而言，外觀尺度鍛造製程成形之模具，要適當的考量成形道次與預成形幾何，才能確保材料充填模穴而完成鍛品製作，主要在於考慮材料之成形極限及確保材料充填模穴而完成鍛品製作。牙部螺紋區域之擠壓輾造，要適當考慮牙部螺紋位置之成形幾何精度及公差與材料輾造成形材料擠壓負荷之均勻。但相關模具之設計及製造過程並未充分將扣件鍛造輾造模具之實際使用情形、壽命影響及可能之破壞情況列入考量。

扣件模具壽命及破壞仍存在許多需要克服之挑戰，例如：盤元經由成形機台進行剪斷加工所獲得的鍛胚斷面，其剪斷面對模具負荷及壽命影響。不良之剪斷面將導致胚料歪斜與體積變異，因而模具負荷不均勻與疊料之負荷。鍛胚與模具之間的空隙不當影響模具沖棒壽命及造成破壞使沖棒壽命降低。輾造成形過程中亦可能因潤滑不良而影響製程之穩定性，使得胚料黏著於模具表面而產生模具損傷缺陷使牙板壽命降低。

如何注意及重視扣件模具壽命及破壞？本文在此簡要提供相關資訊，並探討扣件模具壽命及破壞之要因。

### 二、扣件模具失效型式



扣件模具使用壽命，多數為模具已經用於扣件生產的次數或批量。扣件模具的失效亦可分為非正常失效及正常失效。**非正常失效（早期失效）**是指模具未達到一定的工業水準下公認的壽命時就不能工作。早期失效的形式有塑性變形、斷裂、局部嚴重磨損等。**正常失效**是指模具經大批量生產使用，因緩慢塑性變形或較均勻地磨損或疲勞斷裂而不能繼續工作。

扣件模具正常失效前，扣件生產廠商多數以本身既有之生產經驗，預估產出的合格扣件產品的數目或批量，稱為模具正常壽命，簡稱模具壽命，模具損傷若能修復，首次修復前生產出的合格產品數目，叫首次壽命；模具一次修復後到下一次修復前所生產出的合格產品數目，叫修模壽命。一般而言，模具總壽命是首次壽命與各次修復壽命的總和。

扣件模具工作狀態差別很大，損壞部位也各異，但失效形式歸納起來大致有三種，即磨損、斷裂、塑性變形。

1. 磨損失效：模具在工作時，與成形坯料接觸，產生相對運動。由於表面的相對運動，模具接觸表面逐漸失去物質的現象叫磨損。在摩擦過程中，產生瞬間的衝擊和高溫，在模具金屬表面的形成氣泡破裂或氣體高壓衝擊，使模具表面形成微小麻點和凹坑的現象叫氣蝕磨損。兩接觸表面相對運動時，在機械應力與熱應力往復應力的作用下，達到疲勞強度時，使表面金屬疲勞脫落的現象稱為疲勞磨損。在摩擦過程中，如果模具表面和周圍潤滑介質或成形坯料發生化學或電化學反應，再加上摩擦力的機械作用，引起表面材料脫落的現象叫應力腐蝕磨損。**磨損失效往往是以多種形式並存，並相互影響。磨損失效的現象常見於牙部螺紋區域之擠壓輾造使用之模具，亦可見於沖頭或針具。**
2. 斷裂失效：扣件模具出現破裂紋或破裂分離為兩部分或數個部分喪失工作能力時，稱為斷裂失效。斷裂時依照其破壞斷面又可分为塑性斷裂和脆性斷裂。又可分为疲勞斷裂或低疲勞強度一次性斷裂。亦可以破裂紋方向型態描述。例如：扣件外觀尺度之鍛造成形模具如圖 1，扣件鍛造成形模具破裂紋方向型態描述如圖 2。模具破裂紋方向型態示意圖如圖 3。**斷裂失效的現象較常見於外觀尺度鍛造成形之模具或沖棒沖頭或針具。**





### 三、扣件模具使用壽命與失效分析

扣件模具製造加工及使用現況中，早期失效的問題，可以從模具結構的應力集中、模具材料材質處理予以探討並尋求對策。**扣件模具失效分析的研究，針對扣件模具的失效機制，對提高扣件模具精度和延長扣件模具的使用壽命，具有十分重要的意義。**扣件模具失效分析之關聯性包含：1. 模具結構設計，2. 模具材料選用及效能，3. 模具製造加工、精度、品質及過程，4. 模具處理，5. 模具組合安裝，6. 模具現場實際使用條件。(如圖 4)



圖 2 扣件鍛造成形模具破裂紋方向型態 (a) 沖孔徑向破裂 (b) 模孔軸向破裂 (c) 外殼徑向破裂 (d) 應力環及模孔軸向破裂

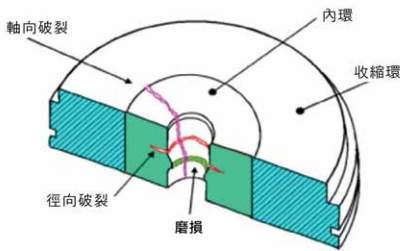


圖 3 模具破裂紋方向型態示意圖

1. 模具結構設計：模具實際成形時的應力集中或分散狀況，直接影響模具負荷狀態，亦直接影響扣件模具的使用壽命，可以藉由鍛品不同成形道次之鍛胚幾何設計實施壓造應力模擬分析。透過軟體模擬不同壓造條件最佳化之模具應力負荷分佈，於設計階段實施預防或改善既有之扣件模具設計，以提高模具壽命。
2. 模具材料選用：目前扣件模具之選用多以 JIS 或 ASTM 規格標準之**模具鋼為主**，模具鋼本體之材質效能受後續加工過程與熱處理過程直接影響，應參酌源自模具鋼材製造廠提供之材料規格型錄之用途，依用途種類分別進行適當加工及熱處理。例如：以模具鋼大同 DC53 為例，絲滾牙用 [ 淬火 1030 ~ 1040°C 回火 520 ~ 530°C (2 次) 使用硬度 HRC 62~63]；細長衝頭用 [ 淬火 1020 ~ 1030°C 回火 200 ~ 300°C (2 次) 使用硬度 HRC 58 ~ 61]。
3. 模具製造加工、精度、品質及過程：模具製造及加工熱處理過程之順序，均會影響模具品質及模具加工精度。通常在製造過程會考量加工難易度、複雜度、精度及扣件模具品質要求決定過程順序。過程順序大致可分為
  - (1) 材料熱處理→加工→(表面處理)→模具成品
  - (2) 模具加工→熱處理→(表面處理)→模具成品
  - (3) 模具粗加工→熱處理→模具精加工→(表面處理)→模具成品

不論過程順序為何，不論加工後是否表面處理，模具加工後之表面品質直接影響後續磨損狀況或疲勞強度，改善模具壽命應予以注意並關切模具加工後之表面品質。

4. 模具處理：模具鋼材除了通常之淬火回火熱處理操作外，大多屬於高合金鋼種，熱處理淬火極容易殘留沃斯田鐵組織，殘留沃斯田鐵容易造成回火脆性不僅影響回火品質，也可能造成模具使用中受應力影響使模具而破壞，降低模具使用壽命。為避免回火品質受影響，可適當於

淬火後實施深冷處理 (Subzero)，降低殘留沃斯田鐵，再實施回火。亦可依據模具用途實施特殊熱處理 (例如：沃斯回火處理 Austempering、麻時效處理 Maraging)，以獲得更優良之鋼材性質及效能。模具表面是直接與胚料接觸相對運動的區域，適當的表面處理不僅模具表面能獲得更好的表面品質，更能延緩摩擦過程中磨損的現象，也能增加鋼材疲勞強度而提高模具壽命。**適當的模具表面處理是提高模具壽命比較直接有效的方式。**常見提高模具表面品質的處理方法，例如：珠擊法、TiN 鍍膜、TiCN 鍍膜、TiC 鍍膜、硬鉻被覆等，在

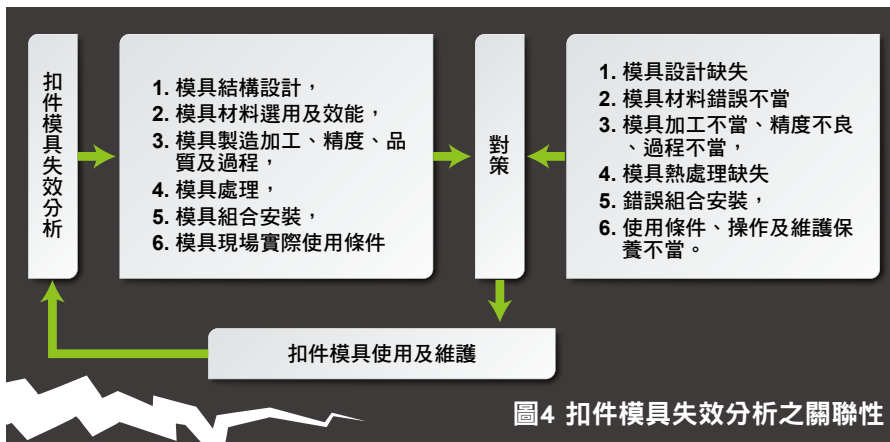


圖 4 扣件模具失效分析之關聯性



日本亦有利用 0.04 ~ 0.2 mm 左右的微粒以 100 m/s 以上的高速撞擊金屬表面，在模具表面附近會產生高殘留壓縮應力延長疲勞壽命的 WPC 處理法，在增強金屬表面形成高硬度表層的同時，經組織的細微化提高韌性。由表面的細微凹陷形成的積油層空隙，以增強扣件壓造輾製時之滑動性能。增強耐磨損耐切屑性能。且具有防止應力腐蝕、粒間腐蝕、電位腐蝕等效果。並減少扣件成形時噪音，又可再與氮化、TiN 鍍膜、TiCN 鍍膜、TiC 鍍膜等複合處理，增強各種鍍層表面處理的附著強度，可獲得乘數效應。

5. 模具組合安裝：模具在鍛壓造輾製的高負荷狀態下，不當的模具組合安裝可能造成模具直接瞬間的破壞。
6. 模具現場實際使用條件：模具應適當的調整，一般試模或開機調整多以扣件成形之尺寸精度規格公差為主，往往忽略鍛壓造輾製的高負荷狀態下之滑動造成模具磨損及疲勞強度的影響，扣件製造甚少注意潤滑冷卻用油品之品質狀況及模具磨損之比較，適當的選用或更換鍛壓造輾製潤滑冷卻用油品，不僅可提高模具壽命，亦可改善扣件本身鍛壓造輾製後的表面品質，相對也能提高生產速度及適當的增加產能，也是簡單提高模具壽命的方法。

扣件模具是屬於扣件生產主要設備之一，扣件模具使用操作後制訂模具點檢與保養之方法，可以有效維護模具的精密度及穩定生產作業，保證扣件產品成形的品質，減少生產過程中故障的發生，使模具能保持最佳的性能狀態及延長使用壽命。經過良好保養與維護的模具，可以縮短模具裝配、調試時間，減少生產故障，使生產平穩運行，減少廢品損

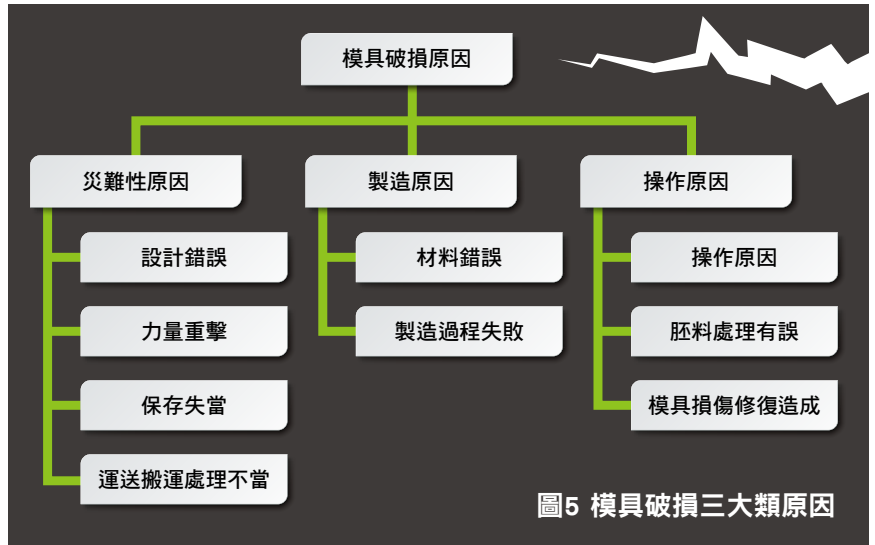


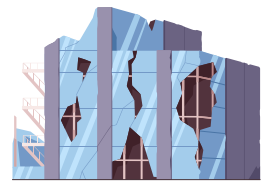
圖5 模具破損三大類原因

失，並降低企業的運營成本和固定資產投入，當下一個生產週期開始時，企業能夠順利生產出質量合格的扣件產品。因此，對扣件加工來說，在當前市場競爭激烈的情況下，在完成一個生產週期後，模具一般入庫保存直到下一生產週期來臨時再拿出使用。對扣件模具保存應特別重視表面銹蝕的防止及表面光潔度之維護，避免異物壓傷模面。扣件模具保存發現模面銹蝕應注意除銹方法以避免模面損傷影響模具壽命。

#### 四、模具破損分析及鑑別破損原因類別

模具破損原因大致分類為三大類：1. 災難性原因、2. 製造原因、3. 操作原因。(圖 5)

模具破損應鑑別破損原因預防，鑑別破損原因重點在於收集破損資訊及分析資訊，瞭解故障模具的製造過程及使用的履歷有助於分析模具破損原因。然而，在許多情況下，這些資訊是粗略的，必須依靠經驗及工程判斷分析。對於大多數模具破損，可以遵循基本方法，以最大限度地提高識別故障原因的可能性。然而，有時無法發現模具破損的原因。在這種情況下，模具破損通常歸因於未知的使用條件。



在開始鑑別調查原因前，如果可能的話，應編製完整的模具製造過程及使用壽命。接下來應仔細檢查、測量和拍攝記錄損壞的程度和位置。經過這項研究，相關的設計特徵以及一些加工問題通常很明顯。通常也會確定由破損引起的破裂的起始位置(源)。

目視檢查模具造成的損壞通常足以對破損類型進行分類。小部分案例需要進行簡單的立體顯微鏡放大倍率破壞形態檢查。如果這辨識破壞起始部位可能存在某些東西，則需要進行 SEM 檢查和 EDS 或 WDS 分析。必須對受損破壞區域及原點進行微觀結構檢查。經驗上可能大部分模具破壞是由熱處理問題引起的；應強調適當的金相觀察程序。利用硬度測試或冷浸蝕或熱浸蝕進行巨觀結構檢查也很有用。X 光繞射可用於確定殘留沃斯田鐵存在的量。X 光繞射也可用於識別夾雜介在物或偏析物。編譯及分析數據後，可報告破損分析發現支持之事證。依據事證，說明破損原因之歸類，必要時就未來或現有的模具過程矯正措施提出建議。 ■

撰文：王維銘 著作權所有：惠達雜誌

